

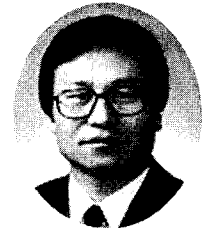
특 집

|| 최신 유동화 콘크리트 ||

유동화 콘크리트의 특성 - Properties of Flowing Concrete -



김무한*



송희영**

1. 서 론

최근 급속한 경제 성장과 더불어 산업 시설 및 구조물 등의 대규모화가 날로 증가하고 있으며, 이에 따라 건설산업의 주요 재료인 콘크리트도 그 특성에 맞게 고강도화, 고품질화, 생산 시공의 대량화 등으로 전환되고 있다.

한편, 콘크리트 관련 기술 분야의 오랜 과제 가운데 하나는 콘크리트 타설시 뿐만 아니라 작업이 끝난 후에도 블리딩이나 골재 분리 등을 일으키지 않고, 동일 물시멘트비를 유지한 채 강도의 감소를 나타내지 않으면서 뉴턴(Newton) 유체와 같이 유동하여 셀프레벨링이 가능한 꿈의 콘크리트를 만들어 내는 것이었다.¹⁾

이러한 측면에서 선진 외국의 경우 단위수량의 증가 없이도 콘크리트의 시공성 및 품질을 동시에 만족시킬 수 있는 유동화 콘크리트가 개발되고 이미 많은 연구 보고와 시공 사례가 발표되어 이로 인한 공사 품질의 향상과 더불어 공사비 절감, 공기 단축 등의 이점으로 콘크리트 공사에서 경제성 향상에 많은 진전을 가져왔다.^{2),3),4)}

그러나 국내의 경우 건설 현장에서 사용되는 콘크리트는 일시적으로 시공성 및 압송성을 개선시키기 위해 무리하게 단위수량을 증가시키므로써 작업성은 향상되었지만 굳지않은 상태에서 재료 분리 및 다량의 블리딩을 발생시키고 있으며, 또한 경화 후에

콘크리트의 강도 및 내구성을 저하시킴으로써 사회·경제적으로 많은 문제를 야기시키고 있다.⁵⁾

따라서 본고에서는 유동화제의 첨가에 의해 유동성을 크게 함으로써 치기 및 다짐 등의 시공성 향상, 펌프 압송성 개선, 단위수량 및 단위시멘트량 절감 등이 가능하여 온도 균열의 방지 및 콘크리트의 고품질화에 유용한 유동화 콘크리트의 굳지않은 콘크리트 성질, 경화 콘크리트 성질, 내구성 등의 특성을 검토함으로써 향후 건설 현장에서의 유동화 콘크리트 보급화를 위한 참고 자료를 제시하고자 한다.

2. 굳지않은 콘크리트의 성질

2.1 워커빌리티

일반적으로 유동화 콘크리트는 동일 슬럼프의 묽은비빔 콘크리트와 거의 동일한 워커빌리티를 가진다고 한다. 그러나 슬럼프가 동일하여도 유동화 콘크리트는 유동화제에 의해 유동성을 증가시킨 콘크리트로서 단위수량이 적고, 시멘트 페이스트 자체의 유동성이 우수하기 때문에 콘크리트의 운반·타설 등에 있어서 일반적인 묽은비빔 콘크리트의 워커빌리티와는 차이가 있다.⁶⁾ 한편 이와 같이 유동화제로써 유동성을 증가시킨다는 특성에 의해서 유동화제의 적절한 첨가가 이루어지지 않으면 묽은골재의 분리나 콘크리트 표면의 곰보 발생 가능성이 높아지는 등 문제가 발생할 수 있다.⁷⁾

* 정희원, 충남대학교 건축공학과 교수

** 정희원, 한밭대학교 건축공학과 교수

또한, 유동화 콘크리트는 시멘트 페이스트의 레올로지적 성질에 있어서 동일 슬럼프의 보통 콘크리트 보다 항복치는 저하하지만 점성은 다소 증가되는 것으로 보고되고 있다.⁸⁾

〈그림 1〉은 유동화 콘크리트의 충전성을 동일 슬럼프의 묽은비빔 콘크리트와 비교한 실험 결과이다. 이 실험은 〈그림 2〉에 나타난 시험 장치의 한쪽에 콘크리트를 투입한 후 칸막이를 들어 올려 그 때의 침하량과 그 후 바이브레이터로 다짐했을 때 콘크리트가 이동하여 양쪽의 콘크리트 높이가 동일하게 될 때까지의 시간(상승 시간)을 측정하여 콘크리트의 충전성을 나타낸 것으로서 동일 슬럼프에서도 유동화 콘크리트는 일반적인 묽은비빔 콘크리트와 비교하여 점성이 높기 때문에 다소 유동하기 어려운 경향이 있어 콘크리트의 부어넣기·다짐 등에 주의할 필요가 있다.⁹⁾

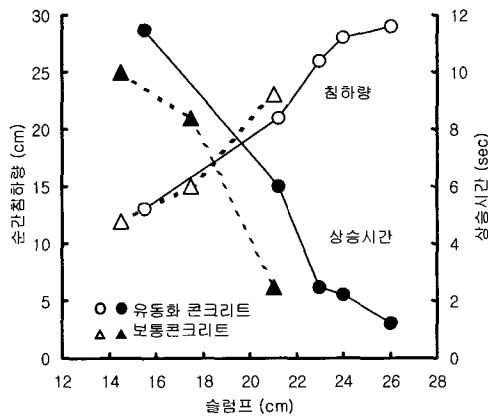


그림 1. 슬럼프와 순간 침하량 및 상승 시간

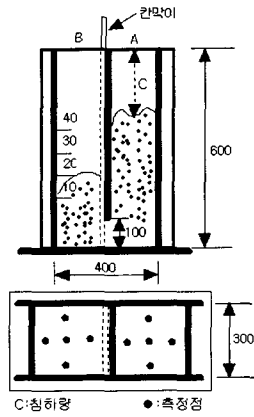


그림 2. 유동성 시험 장치

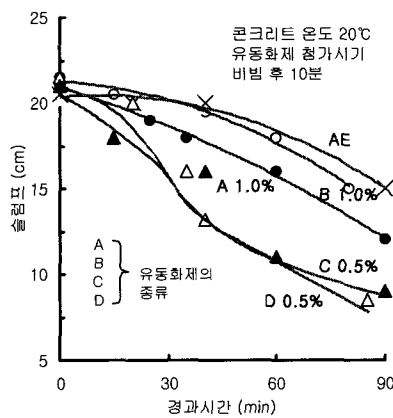


그림 3. 유동화제 종류에 따른 슬럼프 경시 변화

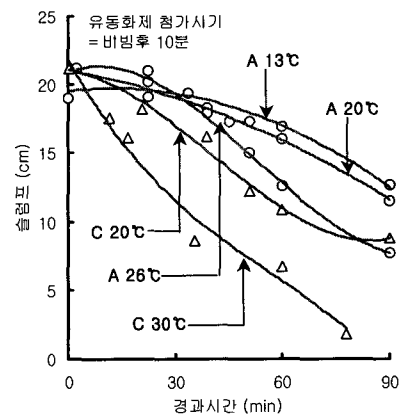


그림 4. 콘크리트의 온도에 따른 슬럼프의 경시 변화

2.2 슬럼프의 경시 변화

뽀비빔 콘크리트를 베이스로 하는 유동화 콘크리트는 일반적인 묽은비빔 콘크리트에 비하여 경과 시간에 따른 슬럼프 저하가 크다. 이것은 콘크리트의 단위수량이 작고 유동화제의 시멘트 분산 효과가 시간이 경과함에 따라 저하하기 때문인 것으로 고려되고 있다.¹⁰⁾

유동화제의 종류에 따른 슬럼프의 경시 변화는 〈그림 3〉에 나타난 바와 같이 유동화제의 종류에 따라 슬럼프를 확보하기 위한 첨가량이 다르게 되며, 슬럼프의 경시 변화는 상이하게 나타나고 있다.¹¹⁾

또한 슬럼프의 경시 변화에 미치는 콘크리트 온도의 영향은 〈그림 4〉에 나타난 바와 같이 콘크리트의 온도가 높을수록 시간의 경과에 따른 슬럼프의 저하가 큰 것으로 기존의 연구 및 시공 자료에 보고되고 있다.¹²⁾

일반적으로 유동화제의 첨가는 현장에서 이루어지기 때문에 콘크리트의 비빔에서 유동화제를 첨가할 때까지의 시간은 현장에 따라 다르며, 유동화 콘크리트의 경시 변화에 대한 하나의 요인이 될 수 있다.¹³⁾ 〈그림 5〉는 유동화제 첨가 시기를 변화시킨 경우 슬럼프의 경시 변화를 나타낸 것으로 유동화제의 첨가 시기가

지연될수록 경시에 따른 슬럼프 저하가 크게 되는 경향이 있다.¹⁴⁾ 그러나, 1999년 제정된 한국콘크리트학회의 콘크리트표준 사양서에서는 유동화 콘크리트의 재유동화에 대하여 유동화제의 허용 한도를 초과해서 첨가할 염려가 있을 뿐만 아니라 과잉 첨가에 의한 재료 분리 및 응결 지연이나 내구성, 장기 강도 등에 악영향을 미칠 수 있으므로 원칙적으로 이것을 인정하지 않는 것으로 규정하고 있다.

그러나, 특별한 사정으로 콘크리트의 부어넣기가 지연되어 유동화 콘크리트의 슬럼프가 심하게 저하된 경우에는 유동화 콘크리트의 품질에 악영향을 미치지 않는다는 것을 시험 등에 의해 미리 확인하고 트럭에지터의 유동화 콘크리트에 유동화제를 재첨가한 후 유동화시켜 소정의 슬럼프가 되도록 하고 있다.

2.3 블리딩

유동화 콘크리트의 블리딩량은 〈그림 6〉에 나타난 것처럼 유동화제를 첨가한 경우 베이스 콘크리트에 비해 증가하지만, 동일 슬럼프의 보통 콘크리트와 비교하면 유사한 수준인 것으로 보고되고 있다.¹¹⁾

> 슬럼프 8cm

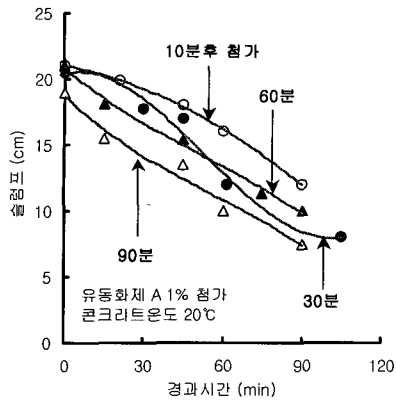


그림 5. 유동화제 첨가 시기에 따른 슬럼프의 경시 변화

베이스 콘크리트에 AE제를 첨가하지 않은 경우 비빔 후 8분에 유동화제를 첨가했을 때의 블리딩률은 베이스 콘크리트에 비하여 크지만, 베이스 콘크리트의 정치 시간을 45분, 90분으로 함으로서 블리딩률은 감소한다. 또한, 베이스 콘크리트에 AE제를 첨가한 경우 비빔 후 8분에 유동화제를 첨가할 때의 블리딩률은 베이스 콘크리트와 동등하다고 보고되고 있다.¹³⁾

한편, 유동화 콘크리트의 블리딩량은 슬럼프가 20 cm 이하에서는 베이스 콘크리트와 같거나 약간 적고, 슬럼프가 20 cm를 초과하면 급격하게 증가하지만, 동일 슬럼프의 보통 콘크리트 블

리딩량과 비교하여 30 ~ 50 % 정도 적게 된다고 보고되고 있다.¹¹⁾

또한, 물시멘트비 55 %, 베이스 콘크리트의 슬럼프 15 cm의 AE 콘크리트에 대해 유동화제 첨가 시기를 120분까지 변화시켜 실험한 결과, <그림 7>에 나타난 바와 같이 첨가 시기가 늦어질수록 블리딩량은 감소하는 것으로 나타났다.

2.4 펌프 압송성

유동화 콘크리트의 경우 <그림 8>에 나타난 바와 같이 펌프 압송성은 크게 향상되며, 펌프 압송시 압력 손실의 정도는 동일 토출량에 있어서 동일 슬럼프의 보통 콘크리트와 비교하여 동일한 수준이거나 다소 감소되는 것으로 보고되고 있다.

또한, 펌프 압송이 압축 강도에는 크게 영향은 주지 않지만 압송 후 슬럼프 및 공기량이 다소 저하된다는 보고도 있다.¹⁵⁾

2.5 다짐과 재료 분리

유동화 콘크리트의 경우에 있어서도 다짐 작업이 이루어지지 않으면 높이 방향으로 강도의 변형이 발생할 수 있다. 그러나, <그림 9>에 나타난 바와 같이 진동 다짐 시간에 따라서 굵은골재의 분리 및 강도의 불균일이 발생할 수 있다. 이러한 경향은 잔

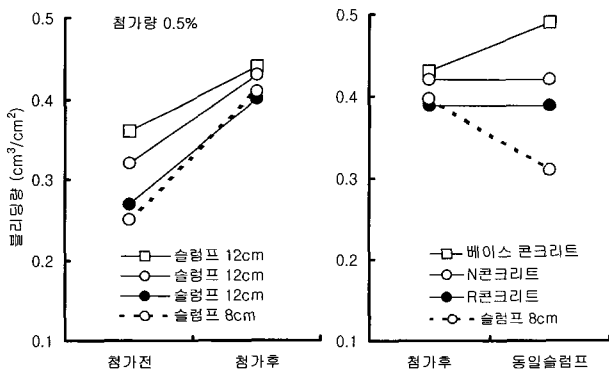


그림 6. 블리딩량의 비교

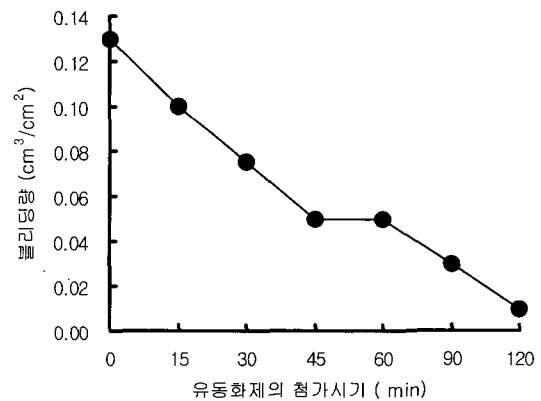


그림 7. 유동화제 첨가 시기에 따른 블리딩의 경시 변화

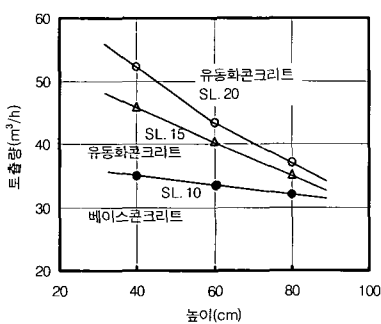


그림 8. 압송 높이와 토출량의 관계

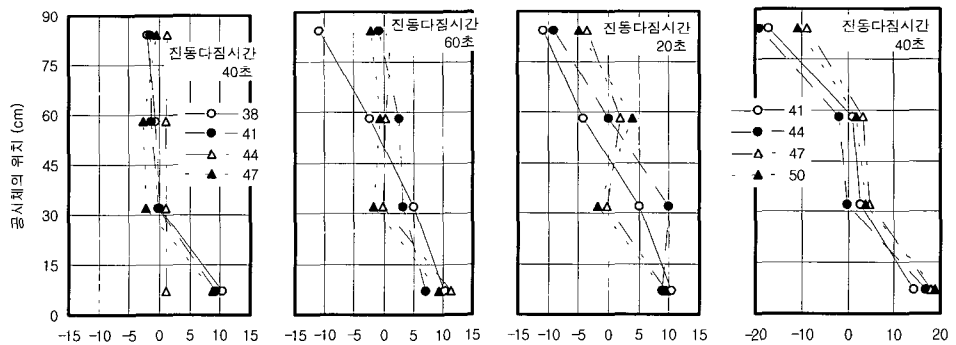


그림 9. 진동 다짐 시간에 따른 굵은골재의 분리

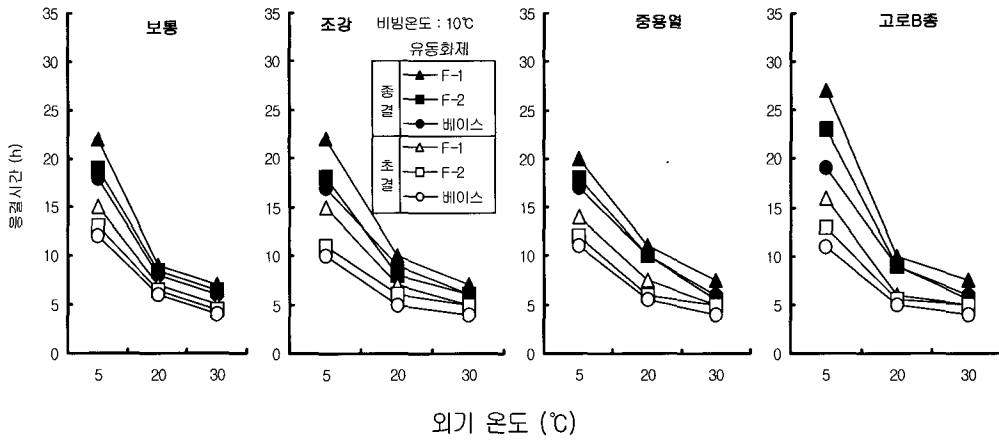


그림 10. 시멘트 종류별 온도와 응결 시간의 관계

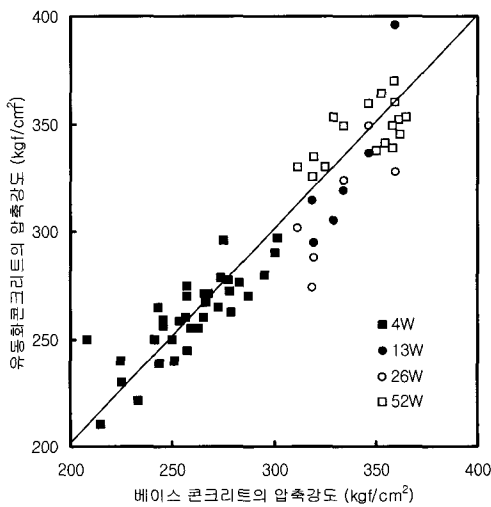


그림 11. 유동화제 첨가 전후의 압축 강도 비교

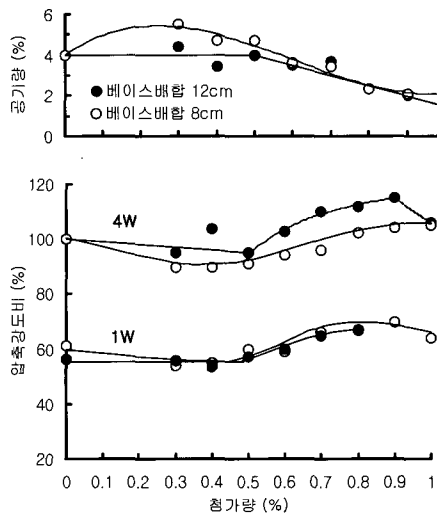


그림 12. 유동화제 첨가량과 압축 강도 및 공기량의 관계

골재율에 크게 영향을 받으며, 유동화 후의 슬럼프가 클수록 재료 분리의 정도도 크게 되는 것으로 보고되고 있다.¹⁶⁾ 이와 같이 과도한 진동에 의하여 다짐이 이루어지는 경우에는 굵은골재의 분리, 강도의 불균일 문제가 발생할 수 있으므로 다짐 작업에 유의하여야만 한다.

2.6 응결 시간

유동화제 종류에 따른 유동화 콘크리트의 응결 시간은 나프탈

린계 및 멜라민계 유동화제의 경우 유의할 만한 지연 작용을 일으키지 않으며 초기 재령 강도(22시간 정도)도 유동화제의 첨가에 의해 영향을 받지 않는다고 보고되고 있다.¹⁴⁾

한편, 콘크리트의 온도 및 시멘트 종류에 따른 유동화 콘크리트의 응결은 <그림 10>에서 보는 바와 같이 외기 온도 20℃ 및 30℃의 경우 유동화제의 지연성은 문제되지 않지만 외기 온도 5℃의 경우에는 사용하는 시멘트의 종류에 따라서 큰 폭으로 지연되는 경우가 있어 주의할 필요가 있다.

3. 경화 콘크리트의 성질

3.1 콘크리트 강도 및 정탄성계수

유동화 콘크리트의 압축 강도에 미치는 유동화제의 종류, 첨가 유무, 첨가 시기, 첨가량과 사용하는 시멘트, 골재 종류 및 콘크리트 온도 등의 영향에 대하여는 많은 검토가 이루어졌다. <그림 11> 및 <표 1>에 나타난 바와 같이 유동화제의 첨가 전후 양자의 압축 강도에 유의할 만한 차이는 나타나지 않으며 재령 3년까지의 결과에서도 동일하다고 보고되고 있다.

그러나 일부의 보고에 의하면 유동화제 첨가 전후의 압축 강도가 큰 차이를 보이고 있으며 이는 <그림 12>에 나타난 바와 같이

표 1. 유동화 콘크리트의 장기 재령 압축 강도

베이스 콘크리트의 배합						유동화제		슬럼프 (cm)	공기량 (%)	압축 강도 (kgf/cm ²)				
혼화제	사용량	C (kg/m ³)	W (kg/m ³)	W/C (%)	S/a (%)	종류	사용량 (cc/c×100g)			7일	28일	91일	1년	3년
P ₁	C×0.25%	300	156	52	43	(Base)	-	12.0	4.0	255	380	425	466	468
						F-1	400	20.5	4.5	264	389	426	470	475
						F-2	800	21.0	4.0	262	391	437	475	479
P ₂	250cc/ C=100kg	300	156	52	43	(Base)	-	12.5	4.1	259	372	424	466	469
						F-1	400	21.0	4.2	260	380	422	462	470
						F-2	800	21.5	4.0	261	386	430	467	472

유동화제 첨가 전후의 공기량 변화에 의한 것으로 보고되고 있다.¹²⁾

따라서 유동화 콘크리트의 배합 강도에 따른 물시멘트비는 유동화제의 첨가 전후에 있어 공기량 변화가 현저하지 않는다는 조건에서 베이스 콘크리트로 얻어진 값을 그대로 채용하여도 바람직한 것으로 판단된다.

한편 유동화 콘크리트의 휨 강도 및 인장 강도는 일반적으로 베이스 콘크리트와 거의 유사한 수준으로서 유동화에 의한 영향을 받지 않는 것으로 보고되고 있다.¹⁷⁾ 또한 유동화 콘크리트의 정탄성계수는 <그림 13>에 나타난 것처럼 유동화제 첨가에 의한 유의할 만한 차이는 나타나지 않는다.

3.2 건조 수축·압축 크리프

유동화 콘크리트의 건조 수축은 베이스 콘크리트와 거의 동등하며 보통의 묽은비빔 콘크리트보다는 10~15% 작게 된다고 보고되고 있다.⁷⁾

또한 건조 수축은 동일 배이스 배합에서 유동화제의 첨가량을 변화시켰을 경우 첨가량 0.3~0.8%에서는 베이스 콘크리트와 동등하지만 0.9~1.0%의 첨가량에서는 베이스 콘크리트보다 약간 작아진다. 이는 다량 첨가에 의해 공기량이 감소하기 때문이라고 판단된다.

또한 유동화제 첨가 시기에 관계없이 건조 수축은 유사하며, 베이스 콘크리트 및 비빔시에 유동화제를 첨가한 콘크리트의 건조 수축보다 작다고 보고되고 있다.¹⁴⁾ 또한, 슬럼프 21cm의 묽은비빔 콘크리트와 슬럼프 12cm 및 슬럼프 12cm를 유동화시킨 콘크리트를 비교한 결과, <그림 14>에 나타난 바와 같이 보통 콘크리트보다 감소하며, 베이스 콘크리트와 거의 유사하게 나타났다.

한편, 유동화 콘크리트의 압축 크리프는 <그림 15>에 나타난 바와 같이 재하 재령 30일까지는 베이스 콘크리트와 동등하며,

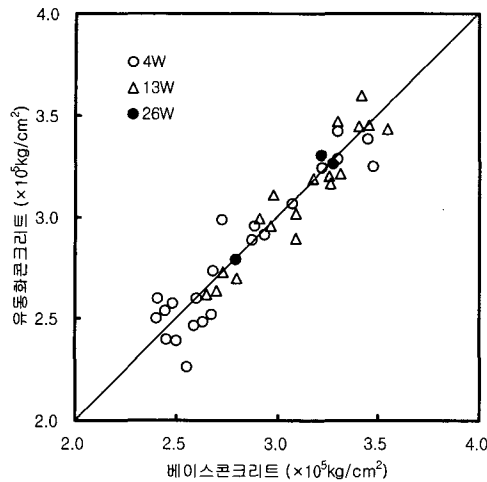


그림 13. 유동화제 첨가 전후의 정탄성계수의 비교

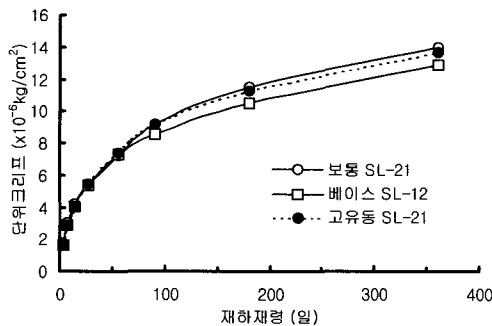


그림 15. 압축 크리프 시험 결과

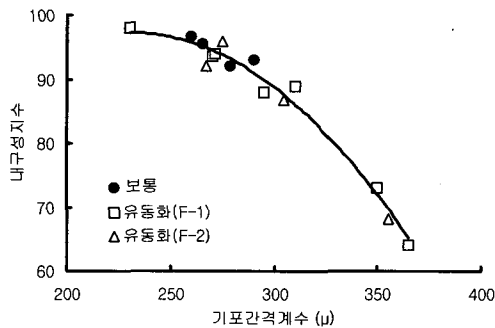
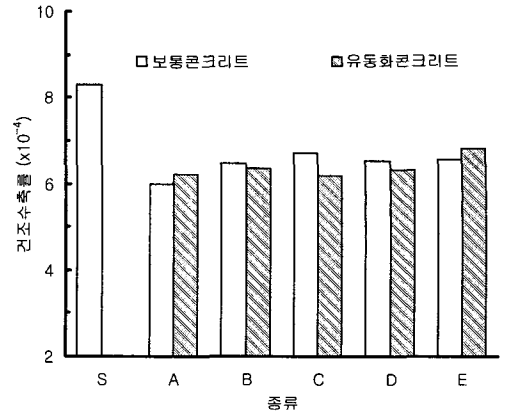


그림 17. 기포간격계수와 내구성의 관계



S : 보통 콘크리트 (AE, 슬럼프 21cm)
A~D : 유동화제 (베이스 콘크리트는 AE, 슬럼프 12cm)
E : 지연형 특수혼화제 (베이스 콘크리트는 AE, 슬럼프 12cm)

그림 14. 유동화 콘크리트의 건조 수축

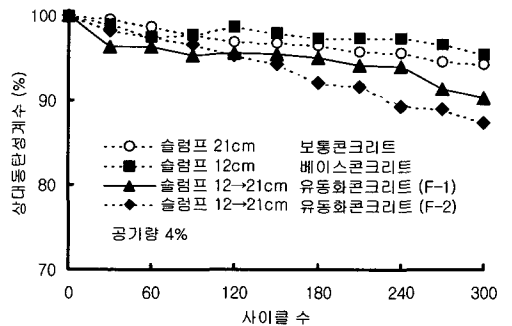


그림 16. 유동화 콘크리트의 동결 융해 저항성

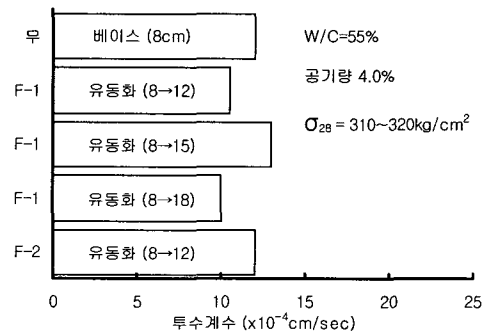


그림 18. 유동화 콘크리트의 투수성

재령 50일을 경과하면 베이스 콘크리트보다는 다소 커지나 보통의 묽은비빔 콘크리트와 거의 유사하게 나타났다.

4. 내구성

4.1 동결 융해 저항성

유동화 콘크리트의 동결 융해 저항성은 보통의 묽은비빔 콘크리트와 유사하다고 보고되고 있다.⁷⁾ 일반적으로 동결 융해 저항성을 증대시키기 위해서는 적정 공기량의 확보가 유효하며 유동화 콘크리트에서도 적절한 공기량이 확보되면 <그림 16>과 같이

동결 용해 저항성은 양호한 것으로 나타났다.

또한, <그림 17>에 나타난 바와 같이 공기량 약 3.5%, 기포간격계수 300 μm를 경계로 내구성지수가 급격히 저하하기 때문에 동결 용해 저항성을 필요로 할 경우에는 공기량 3.5% 이상, 기포간격계수 300 μm 이하로 하는 것이 바람직하다고 보고되고 있다.¹⁷⁾

4.2 투수성·내화학약품성

유동화 콘크리트의 투수성은 <그림 18>에서 보는 바와 같이 베이스 콘크리트와 큰 차이가 없다. 또한, 내화학약품성에 대한 연구는 매우 적으며, 투수성으로 추정하여 볼 때 유동화 콘크리트의 내화학약품성은 베이스 콘크리트와 유사하다고 보고되고 있다.⁸⁾

4.3 내마모성·내열성

일반적으로 유동화 콘크리트의 내마모성은 베이스 콘크리트보다 다소 불량하며 통상의 묽은비빔 콘크리트보다는 우수하다고 보고되고 있다.⁸⁾ 또한, <표 2>와 같이 유동화 콘크리트의 내열성은 보통의 묽은비빔 콘크리트의 내열성보다 약간 우수하다.

표 2 내열성 시험 결과

조 합 시험결과		W/C (%)	단위 시멘트 량 (kg/m ³)	유동 화제 첨가량 (kg/m ³)	슬 럽 프 (cm)	감 수 율 (%)	내열 강도 (kg/cm ³)		
							가열 전	가열 후	
표준 콘크리트	된 비빔	57.9	280	-	7.5	-	434 (100)	326 (75)	
	묽은 비빔	62.7	300	-	18.2	-	385 (100)	293 (76)	
유동화 콘크리트	Non AE	된 비빔	52.1	280	1.4	7.3	10.9	526 (100)	411 (75)
		묽은 비빔	55.0	300	1.5	17.9	12.3	459 (100)	372 (81)
	AE	된 비빔	48.2	280	1.4	7.3	16.9	532 (100)	426 (80)
		묽은 비빔	49.3	300	1.5	17.4	21.3	517 (100)	406 (79)

4.4 단열 온도 상승

건설 분야에서도 대규모 구조물의 건설이 증가하고 매스 콘크리트가 많이 사용되어짐에 따라 수화열의 억제에 대한 일환으로서 유동화 콘크리트가 채용되고 있다. 유동화 콘크리트의 단열 온도 상승값은 동일 물시멘트비, 동일 슬럼프의 묽은비빔 콘크리트에 비하여 낮으며, 베이스 콘크리트와 거의 동등하거나 시멘트 분산에 의한 효율이 향상하기 때문에 베이스 콘크리트보다 다소 높아진다. <그림 19>는 단열 온도 상승 시험 결과를 도시한 예이다.

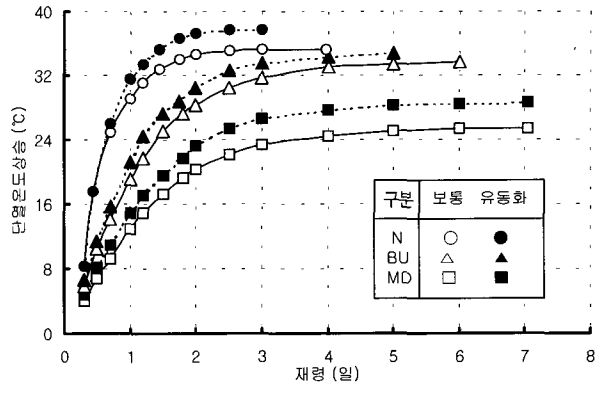


그림 19. 시멘트 종류별 단열 온도 상승 곡선(비빔 온도 20℃)

5. 결 론

이상 기술한 바와 같이 유동화 콘크리트는 유동화제의 첨가에 의해 유동성을 크게 함으로써 치기 및 다짐 등의 시공성 향상, 펌프 압송성 개선, 단위수량 및 단위시멘트량 절감 등이 가능하여 온도 균열의 방지 및 콘크리트의 고품질화에 유용할 것으로 사료된다.

향후 사회 및 건설 환경 변화에 따라 건설산업 현장에서도 시공 관련 기능 인력이 감소하고 있어 콘크리트 공사에 있어서도 인력 절감의 요구가 증대되고 있으며 사회적으로 콘크리트의 내구성에 대한 불신이 높아지고 있는 만큼 이를 위한 수요자의 요구와 건설산업 현장의 변화는 유동화 콘크리트의 사용을 증대시킬 것으로 예측된다. □

참고문헌

1. P. C. Hewlett, "The Concept of Superplasticized Concrete", ACI SP62, 1979, p.3.
2. 友澤ほか, "流動化콘크리트", 콘크리트工學, Vol.18, No.7, 1980.
3. 服部ほか, "流動콘크리트について", セメント技術年報, 1976.
4. 日本建築學會, "流動化콘크리트의 技術의 現狀", 昭和55年9月.
5. 鈴木, "流動콘크리트의 施工實驗", セメント・콘크리트, No.361, 1977.
6. 池田ほか, "各種流動化劑を用いた 콘크리트의ワーカビリティーについて", 第32回セメント技術大會, 1978.
7. 宋河永, "流動化콘크리트의 工學的 特性에 미치는 諸要因의 影響에 관한 研究", 忠南大學校 博士論文, 1993.
8. 岸谷ほか, "流動콘크리트의 基礎的物性に關する實驗的 研究", 第32回セメント技術大會, 1978.
9. 武田, "流動化콘크리트의 施工上の留意點", 建築の技術施工, 1980, 2.
10. 金武漢, "콘크리트의 流動性 增加를 위한 混化劑의 特性", 제 9회 레미콘 技術세미나, 레미콘協會, 1995.

11. 堀田ほか, “流動化済のコンクリートのスランプに及ぼす影響”, 土木學會, 昭和56年.
12. 金森ほか, “流動化済を用いたマスコンクリートの温度上昇および強度に関する研究”, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 昭和56年.
13. 和美ほか, “現場で減水済を混入したコンクリートの特性”, 鹿島建設技術研究所年報, 1976.
14. 小林ほか, “高性能減水済の遅延添加による高品質コンクリート打設工法の研究”, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1975.
15. 福土, “流動化コンクリートによる施工性改善”, 建築雜誌, 1978.
16. 대한주택공사 주택연구소, 「유동화콘크리트의 실용화방안 연구」, 1995.
17. 武田, “流動コンクリート”, 建築技術, 1978.

광고 게재 안내

「콘크리트학회지」는 격월간으로 발행되어 4,000여 회원을 비롯한 콘크리트 관련 업계, 학계, 유관 기관 및 단체 등에 배포되고 있습니다. 귀사의 미래를 위한 광고가 저렴한 가격과 가장 효과적인 방법으로 활용될 수 있도록 게재 광고를 다음과 같이 모집합니다.

게재면	광고 협찬금	게재면	광고 협찬금
표 2	80만원	간 지	70만원
표 3	70만원	내지(전면)	50만원
표 4	100만원	박스 광고	30만원

- * 본 학회의 특별회원사가 게재하는 광고는 상기 광고 게재료의 10%를 할인해 드립니다.
- * 연간 6회 이상 광고를 게재할 경우에는 필름 제작 실비를 지원해 드립니다.

◎ 문의처 : 한국콘크리트학회 사무국 (TEL : (02)568-5985~7)